

# サルボウガイを用いた接触酸化法の河川水質浄化特性に関する研究

松尾保成 | 松尾建設(株)技術研究所  
廣松美希 | 佐賀大学大学院博士前期課程  
荒木宏之 | 佐賀大学低平地防災研究センター  
古賀憲一 | 佐賀大学理工学部都市工学科

## 1. はじめに

公共水域の水質汚濁は公共下水道をはじめとする種々の下水処理施設の整備とともに、一時期の深刻な状況を脱しつつあるものの、依然都市内河川や湖沼・内海内湾等の閉鎖性水域の中には、水質汚濁の著しいところがある。全体の約4分の1の水域で有機汚濁物質について環境基準が達成されていない。その理由として、生活排水が環境の大きな負荷となっている。ほか、市街地、農地等の非特定汚濁負荷から降雨等により流出する汚濁負荷が水質汚濁の重要な要因となっている<sup>1)</sup>。

流域あるいは水域の水質管理を行うには、従来の下水処理システムだけでは不十分であり、今後は汚濁発生源対策や小規模・個別下水処理施設の整備とともに、水域の自然浄化能力の強化や、浄化システムを組み合わせた総合的な汚濁防止・水質改善対策が必要となってくる<sup>2)</sup>。

水域の直接浄化対策として、接触材を用

いた水質浄化施設が普及しつつあるが、必ずしも所期の目標は達成されておらず、水域の限られたスペースで低廉かつ高効率に浄化する施設が望まれている。従来、接触材として礫を用いた礫間接触酸化法が採用されていたが、近年はプラスチックを用いた浄化施設が開発されてきている<sup>3)</sup>。しかし、水質浄化装置の基本メカニズムの解明が不十分であり、実用化可能な装置は未だ少ない。

本研究は、水産加工場からの廃棄物であるサルボウガイ殻を水質浄化施設の接触材として再利用することを目的とし、廃棄物の問題解決とともに水質浄化システムの開発をおこなった。

## 2. サルボウガイの特性

サルボウガイは、有明海でもっとも漁獲量の多い水産物のひとつで、有明海のほか、宍道湖、中海、瀬戸内海などにも分布している。フネガイ科の貝で、漁期は4～7月、産卵期は夏が中心、主に軟泥質の海域の水

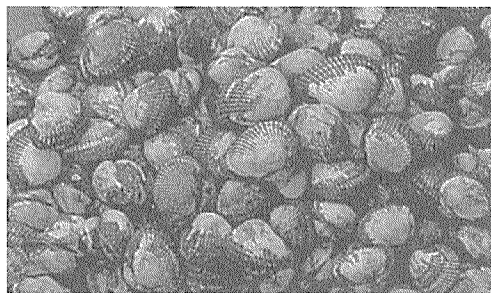


写真-1 サルボウガイ

表-1 接触材の物性値

接触材名	寸法	比表面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )	空隙率 (%)
サルボウガイ 殻	長辺45mm×短辺 35mm×高さ12mm	250	80
A L C	長辺40mm×短辺 25mm×高さ25mm	78	46
プラスチック ネット状	内径28mm×外径 35mm×長さ35mm	177	88
プラスチック 波板状	50mm間隔	57	99

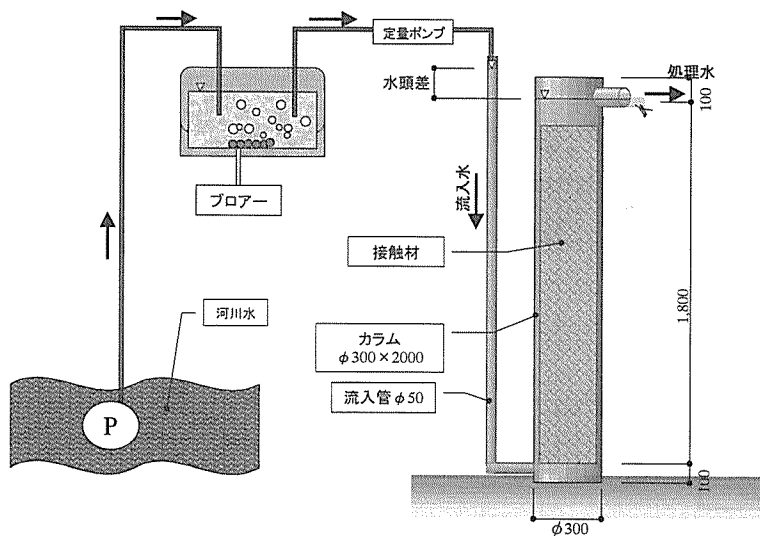


図1 カラム実験装置

深5～10メートルに分布している。殻長は1歳で3センチ、2歳で4センチ程度、殻は白色でよくふくらんだ横長の長方形である(写真-1)。佐賀県のサルボウガイの平成8年度漁獲量は、1万3349トンで、全国の約8割を占め、日本一の生産地になっている<sup>4)</sup>。サルボウガイは煮たり佃煮として食するが、多くは加工品として利用されている。アカガイの缶詰として市販されているものは、ほとんどがサルボウガイである。

加工した後のサルボウガイ殻は、一部飼料や消石灰としての利用の他、水田の圃場整備における暗渠排水管の根巻き材としてモミガラと同様に利用されてきた。しかし、

農政事業の変化に伴い、圃場整備事業が少なくなり、サルボウガイ殻の利用状況も減ってきた。

### 3. カラム基礎実験

#### (1) 実験装置および方法

廃棄物を接触材として利用したりサイクル型の浄化システムとしては、間伐材の木炭、カキ殻等を利用したものなどがある<sup>3)</sup>。

有明海沿岸で大量に漁獲されるサルボウガイ殻を再利用した水質浄化施設は事例がない。そこで、プラスチック等の接触材と比較することによって、サルボウガイを用いた河川水の接触酸化法の可能性を検討した。

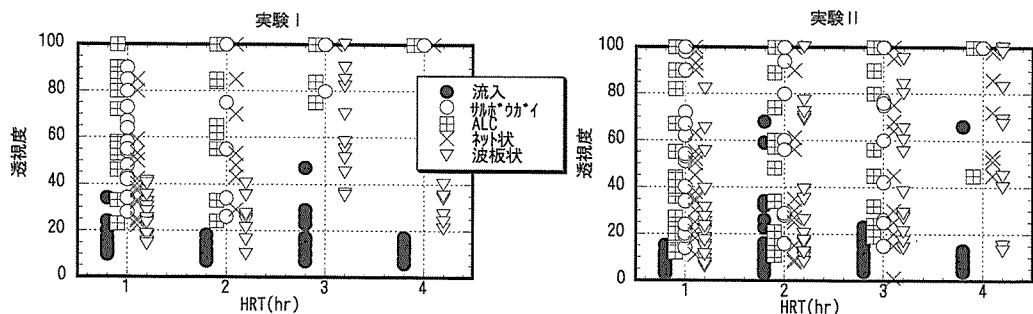


図-2 滞留時間と透視度の関係

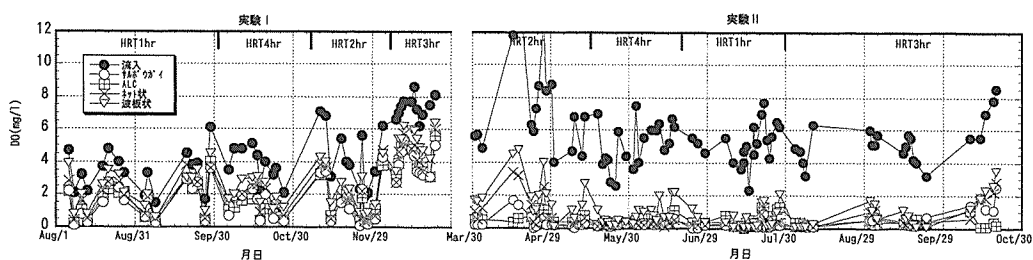


図-3 DOの経日変化

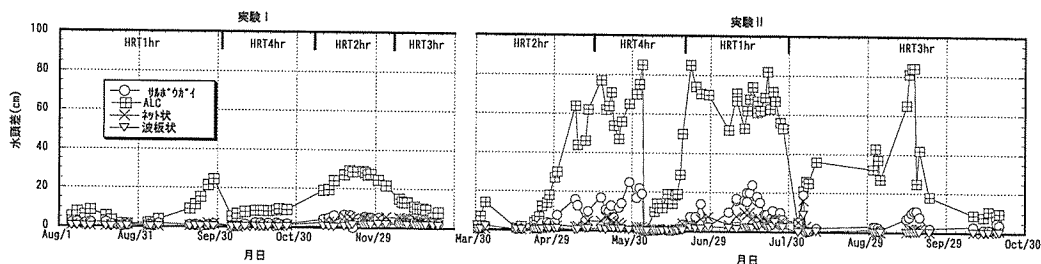


図-4 水頭差の経日変化

実験に用いたカラム実験装置を図-1に示す。実験装置は内径 $\phi 300\text{mm}$ ×高さ $2,000\text{mm}$ の塩ビ管で、下部には堆積泥貯留部 $100\text{mm}$ の空間を設けている。上向流型で流入し、処理水は上部からのオーバーフローとした。実験対象の流入水は、佐賀市内の水路から汲み上げた低濃度河川水(実験I)と、その河川水に都市下水を加えた高濃度河川水(実験II)を用いた。

接触材には、産業廃棄物である水産加工場からのサルボウガイ、建築資材の廃棄物であるALC(Autoclaved Lightweight Concrete)、プラスチックネット状接触材、

並びにプラスチック波板状接触材を使用した。表-1に接触材の物性値を示す。

測定水質項目は水温、透視度、水頭差、pH、DO、SS、TOC、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-Pである。HRT(空筒基準)は1、2、3、4時間になるように定量ポンプで水量を調節した。

## (2) 実験結果および考察

河川水のSSは平均 $15\sim 20\text{mg/l}$ で透視度も約10度と低い。実験IのTOCは低く( $3\sim 5\text{mg/l}$ )生物酸化を受けた停滞型の水であった。

図-2にHRTと透視度の関係を示す。流入水は実験Ⅰ、Ⅱとも透視度10度前後と変動の少ない河川水である。実験Ⅰでは滞留時間が長くなるとともに、処理水質の変動が小さくなり（各HRTのデータ数は同じであるが、データのバラツキは少ない）透視度も高く安定してくる。HRT 4hrではサルボウガイ、ALC、ネット状の処理水透視度は100度以上と良好である。

実験Ⅱにおいても実験Ⅰと同様の結果となっており、HRT 4hrのサルボウガイの処理水透視度は100度以上と良好であり安定している。

図-3にDOの経日変化を示す。実験Ⅰでは各処理水のDOは流入濃度に連動した挙動を示しているがDOの消費がみられることから、生物分解が起きていることが分かる。実験Ⅱでは高濃度流入河川水としたため、流入DOがほとんど消費された。サルボウガイ、ALC、ネット状ではDO消費量の違いはあまりみられなかった。実験Ⅰ、Ⅱともに波板状のDO消費量は、他の接触材よりも少なかった。接触材の接触面積の違いに基づく生物量の差によるものである。

図-4に各接触材の水頭差の経日変化を示す。実験Ⅰでは、接触材ALCの水頭差は運転1カ月後に上昇し始め、HRT 1hrの実験終了時には接触材空隙の目詰まりにより25cmとなった。空隙率の低いALCは他の接触材に比べ目詰まり傾向にある。さらに、流量を下げHRT 4hrに設定すると、水頭差はHRT 1hrに比べ一端下がり、経過日数と共に徐々に上昇している。その他のサルボウガイ、ネット状は若干の水頭差の上昇はあるものの比較的安定していることから、半年程度では目詰まりの問題はないと言える。

実験ⅡにおいてもALCの水頭差は経過日数と共に上昇し、HRT 4hrでは実験Ⅱの開始から20日後で水頭差は85cmとなり、実

験不可能となった。そこで、カラム全体の汚泥引き抜きを行い、実験を再開した。実験Ⅰで水頭差のあまり変化がみられなかったサルボウガイ、ネット状、波板状も空隙率に対する水頭差の上昇に違いがでた。充填接触材の空隙率が低くなると、目詰まりしやすくなる。波板状接触材とネット状接触材の水頭差の上昇は少なかったが、サルボウガイの水頭差は、実験Ⅰと比べ20cmまで上昇した。しかし、逆洗などの汚泥排除をおこなえば、河川浄化施設の接触材として十分使用可能であると言える。

図-5に滞留時間とSS除去率の関係を示す。一般には空隙率が低いとSS除去率は高くなると考えられ、本実験でもその傾向がみられる。ところがHRT 1hrでは、サルボウガイ（空隙率80%）はALC（同46%）の約2倍の空隙率であるにもかかわらずSS除去率はほぼ同じである。またネット状（同88%）とサルボウガイ（同80%）の空隙率はほぼ同一であるが、HRT 1hrではネット状のSS除去率は60%と、サルボウガイに比べ低くなっている。サルボウガイは高い空隙率で汚泥の抑留量が多く、またネット状接触材と比較してSS除去率も高いことから、接触材として優れていることがわかる。これはサルボウガイの空隙の分布や構造が、SSを捕捉しやすい形状になっているものと考えられる。実験ⅡのSS除去率は、HRT 1hrで各接触材とも除去率が上昇している。これは実験開始から3カ月が経過しておりカラムの底部に汚泥が堆積し、その堆積した汚泥で形成されたブランケットゾーンが、SS除去率の向上に寄与したためと考えられる。HRT 2hrでは、実験開始直後であり、カラム全体に汚泥の堆積量が少なく、ブランケットゾーンの形成も少ないため、SS除去率は低下した。このブランケットゾーンの影響は、波板状接触材を用いたカラムでもみられる。実験Ⅰにおいて波板状接触材のSS除去率は低かったが、

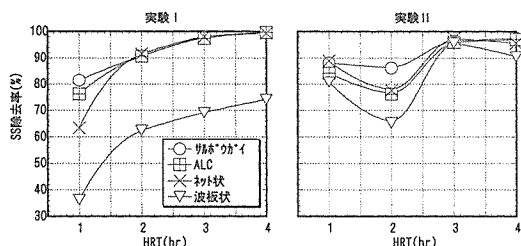


図-5 滞留時間とSS除去率の関係

実験IIでは他の接触材と変わらず高い除去率となった。

図-6 にサルボウガイの実験前と実験後の累積確率と重量の関係を示す。カラムに投入したサルボウガイからのCaの溶出により、処理水のpHが上昇する。そのため、サルボウガイの溶解が起きているものと考えられた。実験II終了後(約1年)、カラム上部と下部のサルボウガイ、使用前のサルボウガイをそれぞれ無作為に約200個ずつ取りだし、サルボウガイの形状を損傷しないように丁寧に洗浄し、乾燥後、貝幅と重量を測定した。その結果、実験終了後のサルボウガイの重量が減少していることがわかった。特に、カラム装置下部の溶解量が大きく、カラム下部のサルボウガイの重量換算溶解率は、0.36/年となった。カラム下部の接触材は流入水が最初に触れるため、貝殻の消耗率が高くなったものと考えられる。

#### 4. テストプラントによる実証実験

##### (1) 実験装置および方法

基礎実験結果から、サルボウガイは接触酸化法を用いた浄化施設の接触材として十分使用できることがわかった。そこで、さらに実用化を目的としたテストプラントを製作し、長期にわたる水質の安定性や維持管理に関する検討を加えた。

実験に用いたプラントの概要を図-7に示す。実験装置は、幅1,300mm×長さ5,100mm×高さ2,100mmの鉄製である。槽を5分割し、下部には堆積汚泥貯留部300mmの空間を

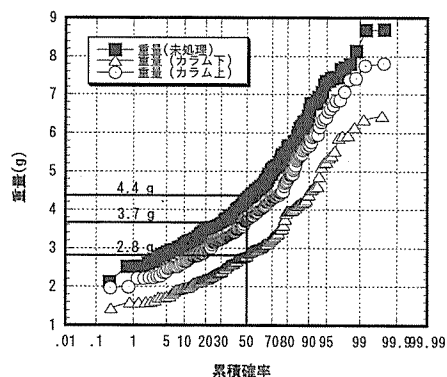


図-6 累積確率と重量の関係

設けている。第1槽目にはφ150mmのボール状プラスチック接触材(空隙率96%、比表面積53m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)を充填した。第2～5槽目にはサルボウガイ殻(空隙率80%、比表面積250m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)を充填した。

流入水は佐賀市内の水路からポンプで汲み上げ、第1槽目の底部側面から上向流で流入し、各槽を上向流、下向流交互に連続通水させた。また各槽の接触材底部には散気管が設置されており、曝気による逆洗が可能である。採水箇所は流入口と放流口、第1槽目(A)、第3槽目(B)の4箇所とした。測定水質項目は、基礎実験と同様である。滞留時間(空筒基準)は基礎実験からもっとも安定した結果が得られた4時間とした。

##### (2) 実験結果および考察

図-8 に水頭差の経日変化を示す。実験開始から4カ月経過した段階で第1槽と2槽目に汚泥の堆積がみられはじめ、第1槽目と5槽目の水頭差は4cmとなった。その後、冬季になり河川水量が減り、河川水のBODが高くなった。第2槽目(第1サルボウガイ槽)の接触材表層にミズワタが発生し、汚泥が堆積するようになったところから、水頭差が徐々に上昇した。水頭差が20cmとなった時点で曝気逆洗をおこなった。逆洗による目詰まりの回復は良好で、またテストプラント側面のガラス窓からの観測では、汚泥の排出は十分起きていることが認めら

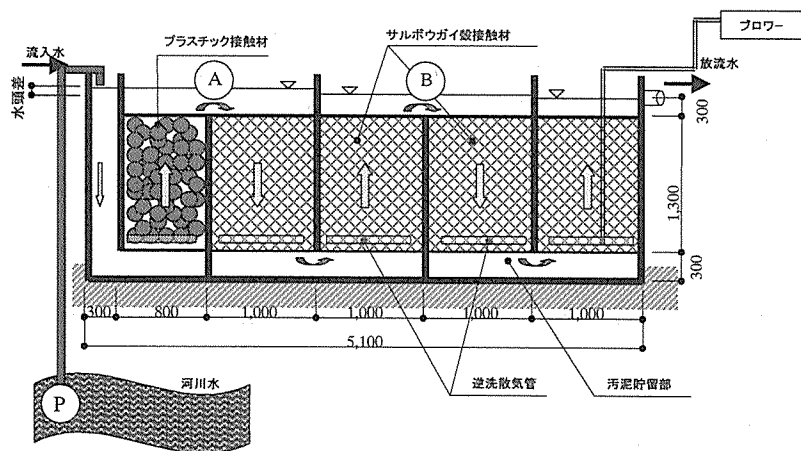


図-7 テストプラント

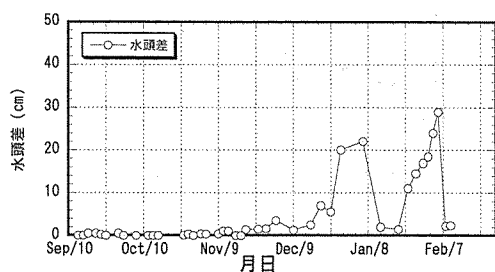


図-8 水頭差の経日変化

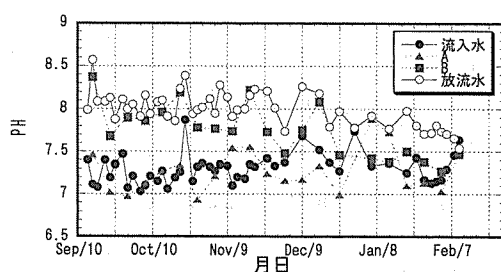


図-9 pHの経日変化

れた。逆洗した汚泥はサルボウガイの空隙を通して汚泥貯留部に移流・堆積していることが観察できた。2度目の水頭差上昇(30 cm)時点でも逆洗をおこない、目詰まりの回復をおこなった。この逆洗頻度は、月1回程度であったが、逆洗頻度の間隔を伸ばすには、第1サルボウガイ槽の水面積を大きくすることで可能である。

図-9にpHの経日変化を示す。流入水pHは7.0～7.5の範囲である。放流水pHはサルボウガイからのアルカリ度溶出によりpHが上昇し7.7～8.3の値となっているが、環境基準値内であり問題ないものと思われる。実験開始直後にpH8.6まで上昇しているのはプラント上部を開放していたため、太陽光による藻類の増殖によるものである。その後は遮光した。藻類の影響は放流水DOの上昇にもみられた。

図-10にSSの経日変化を示す。SS除去率はHRT 4hrではほぼ100%の除去が期

待できる。実験開始から4カ月経過したところから第1槽と2槽目に汚泥の堆積がみられ、2槽目(第1サルボウガイ槽)の表層に汚泥が多く堆積していた。流入SSは第1, 2槽で役割除去されている。

第1槽目(A)のSSが流入水SS濃度より高くなっている期間がある。これは、第1槽と2槽目にミジンコやボウフラなどが大量に発生したため、結果的にSSが高くなったものである。第3槽目(B)と放流水に影響はない。この生物発生による影響はBOD, T-N, T-Pでもみられた。

図-11, 12にBODの水質分析結果を示す。流入水BOD濃度は1.5～13mg/lと大きく変化しているが、放流水は1mg/l前後と安定している。BOD除去は懸濁性BODの沈降・吸着除去によるものだけではなくD-BODの結果からも生物分解が起きていることがわかる。BOD除去率は50%～95%であった。流入BOD, D-BODと各除去率

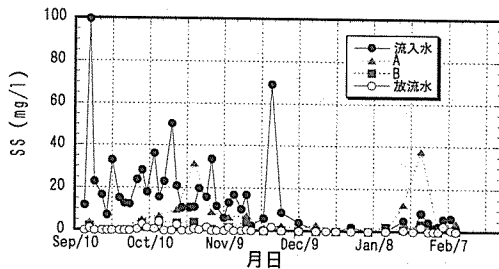


図-10 SSの経日変化

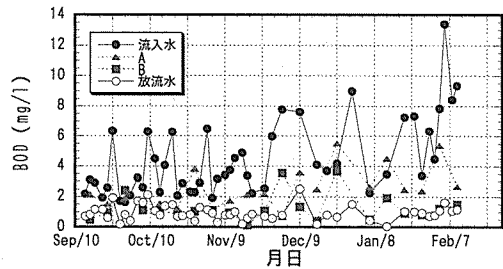


図-11 BODの経日変化

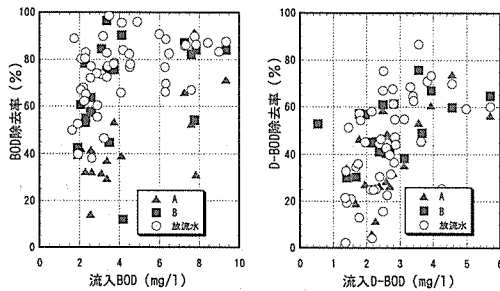


図-12 流入BOD, D-BODと除去率の関係

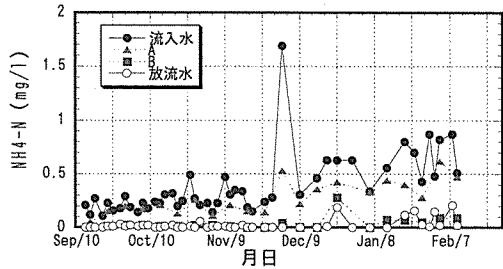


図-13 NH<sub>4</sub>-Nの経日変化

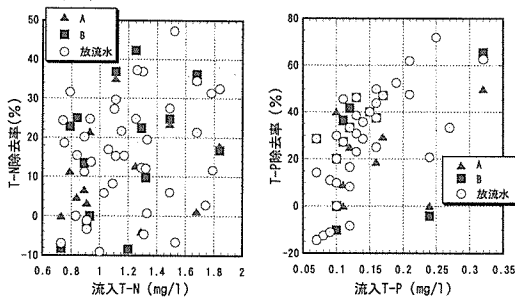


図-14 流入T-Nと除去率の関係

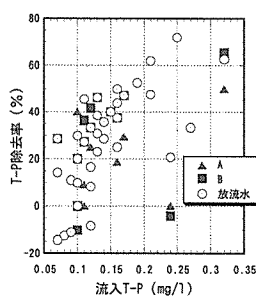


図-15 流入T-Pと除去率の関係

の関係から、除去率は流入濃度に依存していることがわかる。流入濃度が低くなると除去率は低下し、高くなると除去率が高くなっている。このことから河川水は水質変動が大きいので、水質浄化施設の性能評価は単に除去率だけで表せないものと考えられる。

図-13にNH<sub>4</sub>-Nの経日変化を示す。低水温期においても十分硝化が起こっておりNH<sub>4</sub>-Nの除去率は100%と非常に高い値が得られている。また、採水前日の降雨による影響で流入水NH<sub>4</sub>-N濃度が一部上昇

している個所があるが、このときもNH<sub>4</sub>-Nの除去は安定している。

図-14に流入水T-Nと除去率の関係を示す。プラント槽内全体が好気状態であり、脱窒によるT-N除去は低いものと考えられる。T-N除去率は0~40%程度であるが、ほとんどがSS性Nの沈降・吸着による除去である。マイナス除去率は、堆積した汚泥からのNの溶出によるものである。

図-15に流入水T-Pと除去率の関係を示す。T-P除去率は流入水T-P濃度に依存していることが分かる。流入水T-P濃度が高い場合、除去率は最大70%であった。しかし流入水T-Pが0.08mg/l以下と低くなると、堆積汚泥からのP溶出の影響が相対的に強くなるために除去率は低下している。

## 5. まとめ

基礎実験及びテストプラントによる実証実験から得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) サルボウガイの空隙率は80%と高く

十分な汚泥抑留量を有する一方、SSの捕捉性もよく目詰まりも比較的生じにくい。このことからサルボウガイは接触材として使用可能である。

(2) サルボウガイを接触酸化法の接触材として用いる場合、流入部に近いサルボウガイ接触材の重量換算による溶解率度は0.36/年程度である。

(3) サルボウガイを使用した接触酸化法では、逆洗による目詰まりの解消は十分出来る。

(4) 放流水の透視度は高く安定しており、SS除去率もHRT 4hrではほぼ100%の除去が期待できる。

(5) BOD除去はSS性BODの沈降・吸着による除去によるものだけではなく、D-BODの結果から生物的分解が起きている。これらのBOD除去特性や汚泥堆積状況から、高濃度の汚濁河川水にも適用可能である。

(6) BOD除去率は流入BOD濃度に依存しているため、水質浄化施設の性能評価は単に除去率だけで行えない。

## 6. あとがき

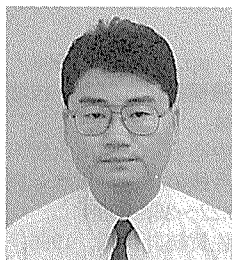
本研究では、廃棄物であるサルボウガイの再利用を目的とし水質浄化装置の接触材としての可能性を検討した。基礎実験並びにテストプラント実験から、サルボウガイは十分使用できることが確認でき、他の接触材と比較しても除去率も高く安定した処理特性を有することがわかった。今後実験を継続し、長期にわたる実験の結果や、滞留時間、除去率、流入水質との関係を把握し、さらに汚泥の堆積状態、サルボウガイの耐久性など維持管理に関する検討を加える予定である。

## 参考文献

- 1) 平成10年度 環境白書, pp.430-441, 1998.
- 2) 楠田哲也: 自然の浄化機構強化と制御, 技法堂出版, pp.17-24, 1994.
- 3) 島谷幸宏: 直接浄化を中心とした河川水質の改善手法の開発動向と今後の課題, 用水と廃水, Vol.40, No.1, pp.22-26, 1998
- 4) 片淵光代: 九州農政局佐賀統計情報, 1996.

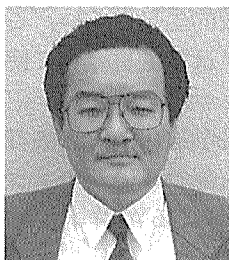


## ■ 著者略歴



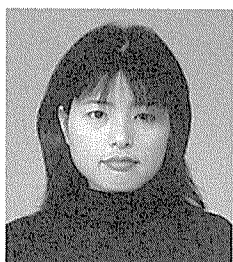
**松尾 保成**  
(まつお やすなり)

1984年 佐賀大学理工学部土木工学科卒業  
1986年 佐賀大学大学院工学研究科土木工学  
専攻修了  
1987年 松尾建設株式会社技術研究所  
工学修士



**荒木 宏之**  
(あらき ひろゆき)

1978年 佐賀大学大学院修士課程修了  
1991年 佐賀大学低平地防災研究センター助教授  
工学博士



**廣松 美希**  
(ひろまつ みき)

1999年 佐賀大学理工学部建設工学科卒業  
1999年 佐賀大学大学院工学系研究科  
博士前期課程



**古賀 憲一**  
(こが けんいち)

1976年 九州大学大学院工学研究科博士課程修了  
1990年 佐賀大学理工学部工学部教授  
工学博士